

Fachgruppe IV.4 Zerstörungsfreie Schadensdiagnose und Umweltmessverfahren

Zerstörungsfreie Risscharakterisierung in Betonbauteilen mit Ultraschall

F. Mielentz, B. Milman und M. Krause, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
W. Müller, Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren (Fraunhofer-IZFP)
S. Crail, Deutsche Bahn AG Forschungs- und Technologiezentrum

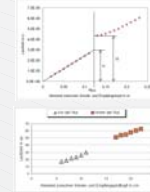
Praxiseinsatz



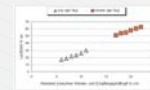
Messaufbau an einer Erprobungsstrecke

Die Risstiefenbestimmung in Festen Fahrbahnen ist hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Konstruktion von wesentlichem Interesse. Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsvorhabens mit der DB AG wurden aus der Literatur bekannte Ansätze bewertet und darauf aufbauend ein Verfahren zur bildgebenden Rissdarstellung entwickelt. Rissüberbrückende Bewehrung sowie Kontaktstellen zwischen den Rissflanken wirken als Schallbrücken und erschweren die Risscharakterisierung, wie bei einem Einsatz an einer Betriebserprobungsstrecke festgestellt wurde. Ein aus der Literatur bekanntes Verfahren der einfachen Laufzeitmessung erwies sich für die Tiefenbestimmung von realen verunreinigten Rissen als ungeeignet.

Risstiefenbestimmung mit Ultraschalllaufzeitmessung



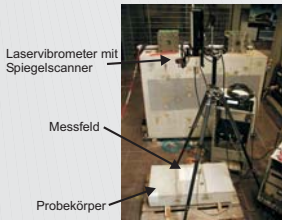
Ultraschalllaufzeitdiagramm (Prinzipbild); die Risstiefe kann aus der Laufzeitdifferenz berechnet werden.



Laufzeitmessung an gesägter, mit Wasser gefüllter Nut. Das Wasser wirkt als Schallbrücke zwischen den Rissflanken und verfälscht das Ergebnis der Risstiefenbestimmung.

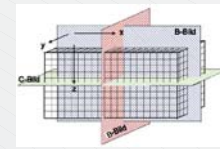
2D-Messung mit 3D-Rekonstruktionsrechnung (3D-SAFT, Synthetic Aperture Focusing Technique)

Messaufbau



Messaufbau mit Laservibrometer.

Die größte Aussagesicherheit über Risstiefe und -verlauf wurde durch zweidimensionales Abtasten der Bauteiloberfläche mit anschließender dreidimensionaler Rekonstruktionsrechnung (3D-SAFT) erreicht. Der Riss wird von einer Seite beschallt (Mittelfrequenz 100 kHz) und die Oberfläche auf der anderen Seite mit einem scannenden Laservibrometer als Ultraschallsensor abgetastet. Aus einem solchen Datensatz wird die Ultraschallrückstreuung bzw. Reflexionen des Volumens unter der Messfläche dreidimensional berechnet. Die Ergebnisse sind als Schnitte bzw. Projektionen darstellbar, bei denen die Intensität der Rückstreuung bzw. Reflexionen farbocodiert dargestellt wird.



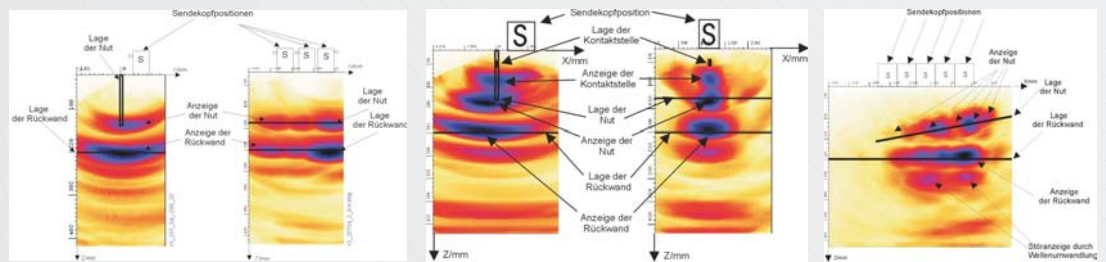
Prinzipbild zu den Projektionen der Ergebnisse aus der Rekonstruktionsrechnung.



Farbskala für die Darstellung der SAFT-Ergebnisse.

Messungen an Probekörpern mit Nuten

Ergebnisse aus den Ultraschallmessungen



B-Bilder der Rekonstruktionsrechnung für einen Probekörper mit einer 13 cm tiefen Nut. Die untere Kante der Nut und die Rückwand sind deutlich zu erkennen. Das Rückwandsignal wurde zur besseren Darstellung abgeschwächt.

B-Bild der Rekonstruktionsrechnung eines Probekörpers mit einer Kontaktstelle (Schallbrücke). Die eingebaute Kontaktstelle ist gut zu erkennen, allerdings wird die Tiefe nicht richtig angezeigt. Das Rückwandsignal wurde zur besseren Darstellung abgeschwächt.

Im B-Bild der Rekonstruktionsrechnung erkennt man deutlich die im Probekörper schräg verlaufende Nut und die Rückwand. Das Rückwandsignal wurde zur besseren Darstellung abgeschwächt.

Realisierung von Nuten mit Kontaktstellen im Probekörper



Die Schalungen der Rissprobekörper (Beton: Größtkorn 16 mm, Festigkeitsklasse B35) mit künstlichen Kontaktstellen, rissüberbrückender Bewehrung und Nuten.

Die 3D-SAFT-Rekonstruktion zeigt in allen Auswertungen sowohl die Rückwand als auch die untere Kante der Nut. Kontaktstellen und Bewehrung, die die Interpretation der Auswertung der oben erwähnten Ultraschalllaufzeitmessungen sehr erschweren oder sogar unmöglich machen, werden in den SAFT-Auswertungen als partielle Streuzentren abgebildet, allerdings wird die Tiefenlage nicht richtig angezeigt. Grund dafür sind Streuungen von Transversalwellen und Wellenumwandlungen, die bei Ansatz der Longitudinalwellengeschwindigkeit in größerer Tiefe erscheinen und bei der Auswertung berücksichtigt werden müssen.

Messungen an Probekörpern mit Biegerissen

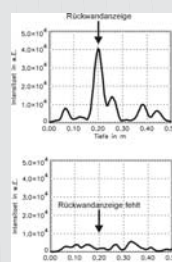
Risserzeugung



In eine Biegeprüfmaschine eingebauter Rissprobekörper (BAM VII.12)

Die Probekörper sind in einer Biegeprüfmaschine bis zum Bruch belastet worden. Dabei wurde die Prüfmaschine so gesteuert, dass der Riss nicht durch den gesamten Probekörperquerschnitt verläuft. Nur bei einem Probekörper ist ein Trennriss erzeugt worden, der von der Oberfläche bis zur Rückwand verläuft.

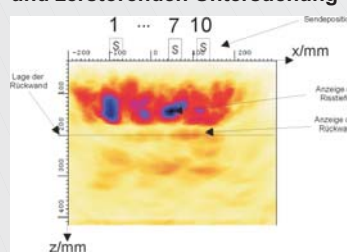
Beurteilung von Trennrissen



Bei fehlender Rückwandanzeige liegt ein durchgehender Trennriss vor.

Um Trennrisse, die durch die gesamte Konstruktion verlaufen, nachzuweisen wurde das Verfahren der laufzeitkorrigierten Überlagerung modifiziert. Das Verfahren beruht auf dem Vergleich einer Referenzmessung an einer ungeschädigten Stelle mit einer Messung über dem Riss. Als Indikator für einen nicht durchgehenden Riss wird das Rückwandsignal des Bauteils herangezogen. Das Signal fehlt, wenn der Riss von der Oberfläche beginnend bis zur Bauteilrückseite durchgehend ist, unabhängig von rissüberbrückender Bewehrung und Kontaktstellen.

Ergebnis der Ultraschallmessung und zerstörender Untersuchung



B-Bild der Rekonstruktionsrechnung eines Biege- risses. Das Rückwandsignal wurde zur besseren Darstellung abgeschwächt.



Die zerstörende Überprüfung ergab eine gute Übereinstimmung mit dem gemessenen Rissverlauf (Draufsicht auf die verfärbten Rissflanken).

Die nebenstehende Abbildung zeigt das B-Bild der Rekonstruktionsrechnung eines Probekörpers mit einem Biegeriss. Zur Überprüfung der gemessenen Risstiefen wurde der Riss mit Markierungstinte verfüllt, der Probekörper in mehreren Spuren quer zum Riss gesägt und danach aufgebrochen. Die zerstörende Überprüfung ergab eine gute Übereinstimmung mit dem gemessenen Rissverlauf. Die bei Position 7 auftretende geringere Risstiefe wird in der Abbildung des Rissverlaufes wiedergegeben. Die mit Ultraschall gemessene Tiefe ist generell etwas kleiner. Das hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass die Markierungstinte in etwas größere Tiefen eindringt, als es der mit der Schallbeugung bestimmten Risskante entspricht.